

навчально-методична  література

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
РОЗДІЛ
«ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»
ЛАБОРАТОРНИЙ
ПРАКТИКУМ

Тернопіль
2013

Електричні кола. Лабораторний практикум

Укладачі: Н.А. Куземко, А.П. Чубатий. – Тернопіль: ТДТУ, 2013. –.

Рецензент: к.т.н., доц. М.Г. Тарасенко.

Затверджено на засіданні кафедри електротехніки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 7 від 2.03.2013 року.

Схвалено й рекомендовано до друку на засіданні методичної ради електромеханічного факультету Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 6 від 23.03.2013 р.

Посібник складено відповідно до навчальної програми курсів „Електротехніка”, „Електротехніка та електромеханіка”, „Основи електротехніки та електроніки”, „Електротехніка, електроніка та основи МПТ”, а також матеріалів літературних джерел, наведених у переліку.

П е р е д м о в а

Методичний посібник призначено для підготовки та виконання лабораторних робіт із курсів „Електротехніка”, „Електротехніка, електроніка та основи мікропроцесорної техніки”, „Електротехніка та електромеханіка”, „Основи електротехніки та електроніки”, викладання яких забезпечує кафедра електротехніки Тернопільського національного технічного університету ім. І.Пулюя. Вказівки також можуть використовувати студенти інженерно-технічних спеціальностей вузів, котрі вивчають курс загальної електротехніки.

У посібнику описано 7 лабораторних робіт, що входять до програм із вищевказаних курсів. У кожній роботі наведено короткі теоретичні відомості до матеріалу, що стосується лабораторної роботи: основні аналітичні вирази, векторні діаграми, графіки характеристик, необхідні для розрахунку та аналізу режимів роботи електричних кіл. Роботи розроблено з урахуванням технічних характеристик вимірювальних приладів, що використовують у лабораторії. У лабораторних роботах є перелік вимірювальних приладів та опис кола, що досліджується, пояснено методику виконання лабораторних робіт, а також порядок опрацювання результатів експериментів та вимоги до оформлення звітів. Контрольні запитання у кінці кожної роботи допоможуть студентам зорієнтуватися в опрацьованому матеріалі та підготуватися до захисту лабораторних робіт. Наведено також зріз оформлення титульної сторінки звіту, позначення й одиниці вимірювання фізичних величин, список рекомендованої для самостійного опрацювання літератури.

Посібник також можуть використовувати студенти при підготовці до складання модулів та екзаменів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11

Дослідження

передавання енергії від джерела до споживача

Мета роботи. Дослідити закономірності передавання енергії від джерела до споживача, режими роботи електричного джерела та навчитися практично визначати параметри джерела.

Домашнє завдання

Відомо напругу U , коефіцієнт корисної дії η , опір навантаження R електричного кола (рис.11.8). Визначити внутрішній опір R_0 та електрорушійну силу E джерела, потужність джерела та споживача. Визначити, яким буде коефіцієнт корисної дії η_2 , якщо навантаження зменшити у 10 разів. Варіанти завдань наведено в табл. 11.1.

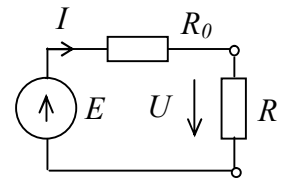


Рис. 11.8

Таблиця 11.1

Вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
η	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
$R, \text{ Ом}$	51	62	73	84	95	106	117	128	139	150
$U, \text{ В}$	110	120	130	140	150	160	170	180	190	100

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з блока живлення БП4822–2, штативу з клемми, плати 5, вимірювальних приладів.

Елементи плати 5: резистори змінні $R_{\text{ЛГ}}$ «Грубо», $R_{\text{ЛТ}}$ «Точно», R_C – перемикач з набором резисторів $R_2 \div R_{10}$.

Вимірювальні прилади: $P\Omega$ – мультиметр Щ4300 для вимірювання опору, опції $<->$, $<R>$, $<2 \text{ к}\Omega>$; PmA – міліамперметр Э536, PV – мультиметр Щ4300 для вимірювання напруги, опції $<->$, $<U>$, $<200 \text{ В}>$. Порядок розміщення вимірювальних приладів зображено на рис. 11.9.

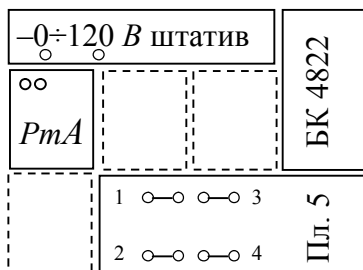


Рис. 11.9

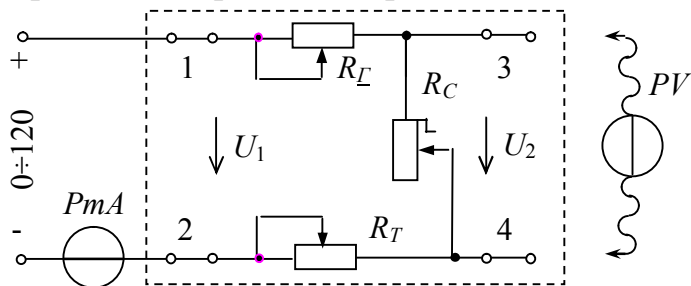


Рис. 11.10

Порядок виконання роботи.

1. Під'єднати мультиметр $P\Omega$ до клем 3–4, користуючись перемикачем R_C , і виміряти опори R_3 , R_5 , R_7 , R_9 . Результати вимірювань записати в табл.

11.2.

2. Під'єднати мультиметр $P\Omega$ до клем 1–2, закоротити клеми 3–4 і встановити загальний опір лінії $R_L = R_6$ резисторами $R_{ЛГ}$ «Грубо» і $R_{ЛТ}$ «Точно».

3. Скласти коло (рис. 11.10) і під'єднати його до клем штатива $<->$, $<0 \div 120 \text{ В}>$. Перемикач блока живлення $ЛАТР$ перемкнути в положення $<0 \div 120 \text{ В}>$.

4. Замкнути клеми 3 і 4 перемичкою і встановити струм короткого замикання $I_{КЗ} = 100 \text{ мА}$ шляхом зміни напруги джерела. Результати вимірювань записати в табл. 11.2 (п.кз). Розімкнути клеми 3 і 4 та виміряти напругу холостого ходу. Результати вимірювань записати в табл. 11.2 (п.хх).

5. Встановити напругу на клеммах 1–2 (на вході лінії) $U_1 = U_{1хх}$ і, підтримуючи її під час досліду сталою ($U_1 = const$), змінювати опір R_C перемикачем. Результати вимірювань записати в табл. 11.2.

6. За даними (табл. 11.2) обчислити: опори споживача $R_C = U_2 / I$, падіння напруги $\Delta U = U_1 - U_2$, потужності на вході лінії $P_1 = U_1 I$ та на її виході $P_2 = U_2 I$, втрати потужності $\Delta P = P_1 - P_2$, коефіцієнт корисної дії $\eta = P_2 / P_1$.

Таблиця 11.2.

Вимірювання					Обчислення					
№ з/п	R_C Ом	U_1 В	I , мА	U_2 В	R_C Ом	ΔU В	P_1 Вт	P_2 Вт	ΔP Вт	η
хх										
3										
5										
7										
9										
кз										

7. Визначити електрорушійну силу $E = U_{1хх}$, внутрішній опір джерела $R_0 = (U_{1хх} - U_{1кз}) / I_K$ та опір лінії $R_L = U_{1кз} / I_{кз}$.

8. За відомими параметрами джерела напруги E , R_0 визначити параметри джерела струму J , G_0 . Накреслити схеми заміщення джерел напруги і струму.

9. За даними табл. 11.2 побудувати залежності $\Delta U(I)$, $U_1(I)$, $U_2(I)$ та $P_1(I)$, $P_2(I)$, $\Delta P(I)$, $\eta(I)$.

Зробити висновки про режими роботи джерел електричної енергії; методи визначення внутрішнього опору джерела та падіння напруги на ньому; характер зміни напруги на затискачах джерела зі зростанням навантаження; величину втрат і коефіцієнт корисної дії джерела.

Зміст звіту

Назва й мета роботи. Домашнє завдання – розрахунок кола. Принципова схема досліджуваного кола. Монтажна схема кола з вимірювальними приладами. Таблиці. Графіки.

Контрольні запитання

1. Дайте означення електричного кола і елемента кола. Поясніть суть ідеалізованого і реального елемента.
2. Перелічіть основні елементи електричного кола та поясніть їх призначення. Поясніть призначення допоміжних елементів.
3. Зобразіть схему ідеального джерела та приймача, вкажіть їх параметри та додатні напрями електричних величин.
4. Зобразіть схему заміщення джерела напруги і представте його зовнішню характеристику аналітично та графічно.
5. Зобразіть схему заміщення джерела струму і представте його зовнішню характеристику аналітично та графічно.
6. Запишіть вирази коефіцієнта корисної дії через напругу і електрорушійну силу та через співвідношення опорів.
7. Зобразіть послідовну схему заміщення джерела. Запишіть значення напруги, струму та величини опору навантаження при холостому ході.
8. Зобразіть паралельну схему заміщення джерела. Запишіть значення струму, напруги та величини опору навантаження при короткому замиканні.
9. Дайте означення джерела напруги і вкажіть умову його забезпечення. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії джерела напруги?
10. Дайте означення джерела струму і вкажіть умову його забезпечення. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії джерела струму?
11. Запишіть умову роботи електричного джерела в узгодженому режимі. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії джерела?
12. Як експериментально визначають параметри електричного джерела з використанням методу холостого ходу та короткого замикання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12

Основні теоретичні відомості

Дослідження

змішаного з'єднання резистивних елементів

Мета роботи. Навчитися використовувати закони Ома та Кірхгофа для розрахунку розгалужених електричних кіл постійного струму. Порівняти експериментальні та розрахункові дані, отримані в процесі дослідження лінійного електричного кола постійного струму при змішаному з'єднанні елементів.

Домашнє завдання

Розрахувати коло зі змішаним з'єднанням резисторів (рис. 12.13). Варіанти завдань наведено в табл. 12.1. Обчислити опори ділянок R_{23} , R_{34} , загальний опір кола R , струм I .

Розрахувати вхідну напругу кола U та його ділянок U_{12} , U_{34} , струми віток кола I_2 , I_3 , потужність усього кола P та його ділянок P_{23} , P_{45} . Результати розрахунків записати в табл. 14.2, п. роз.

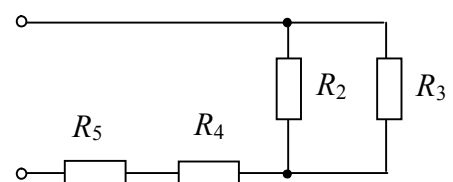


Рис. 12.13

Таблиця 12.1

Вар №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_n, Вт$	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5
$R_2, Ом$	150	155	160	165	170	165	155	160	165	170
$R_3, Ом$	204	186	232	197	203	205	195	181	203	228
$R_4, Ом$	198	193	228	198	196	197	199	208	191	231
$R_5, Ом$	198	212	235	193	201	202	164	211	192	229

Елементи лабораторної установки

Лабораторна установка складається з блока живлення БП4822–2, штатива з клемми, плати 1, вимірювальних приладів.

Елементи плати 1: резистори R_1, R_2, R_3, R_4 .

Вимірювальні прилади: $PV(P\Omega)$ – мультиметр Щ4300 для вимірювання напруги опції: $<->$, $<U>$, $<200 V>$, для вимірювання опору, опції: $<->$, $<R>$, $<2 к\Omega>$; PA – амперметри Э536, межі вимірювання $<0.5 A>$; PW – ватметр для вимірювання потужності, межі: $<75 В / 0.5 A>$. Порядок розміщення вимірювальних приладів зображено на рис. 12.14.

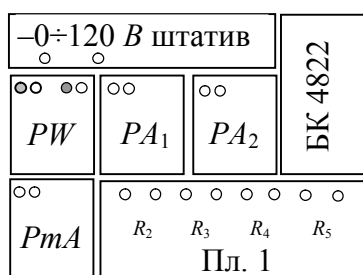


Рис. 12.14

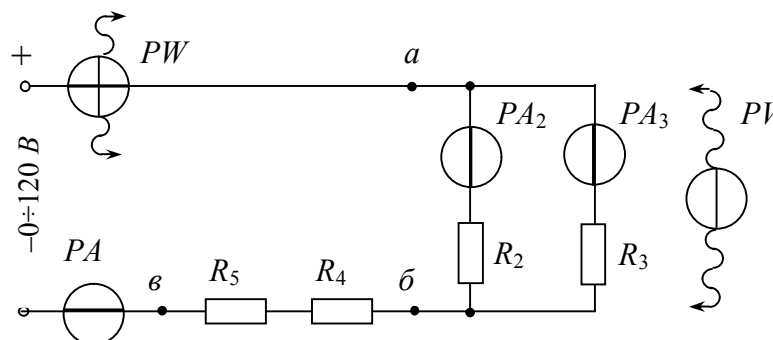


Рис. 12.15

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло (рис. 12.15) і під'єднати його до клем штатива $<-> <0 \div 120 В>$. Перемикач ЛАТР встановити в $<->$, $<0 \div 120 В>$.

2. Дослідити коло зі змішаним з'єднанням резисторів (рис. 12.15). Встановити задану викладачем напругу на вході кола ($80 \leq U \leq 100 В$). Результати вимірювань записати в табл. 12.2, п.вим.

Таблиця 12.2

Розрахунок/Вимір											
№ з/н	$U, В$	$U_{23}, В$	$U_{45}, В$	$U_4, В$	$U_5, В$	$I, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$P, Вт$	$P_{23}, Вт$	$P_{45}, Вт$
Роз											
Вим											

Перевірити отримані результати за рівнянням балансу потужностей $P = P_{12} + P_{34}$.

3. Для дослідження кола з паралельним з'єднанням резисторів R_2 , R_3 закоротити ділянку кола «б–в» (рис. 12.15). Встановити напругу кола, задану викладачем ($14 \leq U \leq 18 \text{ В}$). Результати вимірювань записати в табл. 12.3. Перевірити отриманий результат за першим законом Кірхгофа $I_2 + I_3 = I$.

Таблиця 12.3

Вимірювання						Обчислення		
№ з/п	$U_{23},$ В	I_2 мА	$I_3,$ мА	$I,$ мА	P Вт	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_{23},$ Ом
1								

Обчислити опори резисторів R_2 , R_3 та загальний їх опір R_{23} . Накреслити схему подільника струму та розрахувати струми I_2 , I_3 за відомим з таблиці струмом I .

4. Для дослідження кола з послідовним з'єднанням R_3 , R_4 закоротити ділянку кола «а–б» (рис. 12.15). Встановити струм у колі, заданий викладачем ($170 \leq I \leq 200 \text{ мА}$). Результати вимірювань записати в табл. 12.4. Перевірити отриманий результат за другим законом Кірхгофа $U_4 + U_5 = U_{45}$.

Таблиця 12.4

Вимірювання						Обчислення		
№ з/п	I мА	$U_4,$ В	$U_5,$ В	$U_{45},$ В	P Вт	$R_4,$ Ом	$R_5,$ Ом	$R_{34},$ Ом
1								

Обчислити опори резисторів R_4 , R_5 та загальний їх опір R_{45} . Накреслити схему подільника напруги та розрахувати напруги U_4 , U_5 за відомою з таблиці напругою U_{45} .

Зміст звіту

Назва і мета роботи. Домашнє завдання. Принципова схема кола. Монтажна схема кола з вимірювальними приладами. Таблиці. Графіки.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення вітки, вузла, контуру та комірки електричного кола. Зобразіть схеми активного та пасивного двополіусників.
2. Поясніть суть зображення схеми електричного кола у вигляді графа. Зобразіть двоконтурну схему електричного кола і зобразіть її графом.
3. Зобразіть схему двох послідовно з'єднаних резисторів. Напишіть рівняння напруг, електричного стану та енергетичного балансу.
4. Зобразіть схему подільника напруги. Запишіть вирази напруг на елементах подільника за відомою напругою кола.
5. Зобразіть схему двох паралельно з'єднаних резисторів. Напишіть рівняння струмів, електричного стану та енергетичного балансу.
6. Зобразіть схему подільника струму. Запишіть вирази струмів в елементах подільника за відомим струмом кола.
7. Вкажіть, за яких умов споживачів з'єднують послідовно чи паралельно. Які є переваги та недоліки різних типів з'єднання споживачів?
8. Зобразіть схему кола з послідовно-паралельним з'єднанням резисторів.

Запишіть вирази загального опору кола та потужності в колі.

9. Зобразіть схему кола з паралельно-послідовним з'єднанням резисторів. Запишіть вирази загального опору кола та потужності в колі.

10. Дайте означення кола із простим з'єднанням резисторів. Поясніть суть розрахунку кола з простим з'єднанням резисторів.

11. Зобразіть схему з'єднання резисторів «трикутником» і запишіть формули перетворення його в трипроменеву «зірку».

12. Дайте означення кола зі складним з'єднанням резисторів. Запишіть умову рівноваги місткової схеми з'єднання резисторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 13

Дослідження

резистора, котушки та конденсатора

Мета роботи: визначити параметри резистивного елемента, індуктивної котушки та конденсаторів на змінному струмі промислової частоти.

Домашнє завдання

Розрахувати коло з індуктивною котушкою рис. 14.14. Дані варіантів завдань наведено в табл. 13.1. *Обчислити* реактивний опір

X , повний опір котушки Z , кут зсуву фаз φ . *Розрахувати* напругу індуктивної котушки U , активну P та реактивну Q потужності й добротність d котушки. Результати розрахунків записати в табл. 13.2, п. роз.

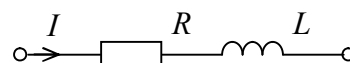


Рис. 13.14

Таблиця 13.1.

Вар.№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, A	0.21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,21	0,22	0,23	0.24	0.25
$L, Гн$	0.79	1.08	1.01	1,10	1,09	1.12	1.13	1.15	1.18	1.20
$R, Ом$	163	181	175	185	182	186	189	187	197	195

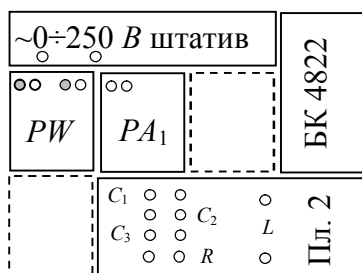


Рис. 13.15

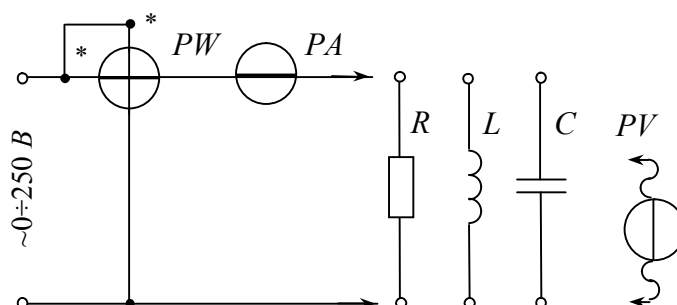


Рис. 13.16.

Елементи лабораторної установки

Лабораторна установка складається з блока живлення БП4822–2, штативу з клемми, плати 2, вимірювальних приладів.

Елементи плати 2: конденсатори – C_1 , C_2 , C_3 , резистор R , L – індуктивна котушка. Вимірювальні прилади: PV – мультиметр М4300 для вимірювання напруги, опції: $<\sim>$ $<U>$, $<200\text{ В}>$; PA – амперметр Э536, межа вимірювання $<0.5\text{ А}>$; PW – ватметр вимірювання потужності, межі: $<150\text{ В} / 0.5\text{ А}>$. Розміщення вимірювальних приладів зображено на рис. 13.15.

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло (рис. 13.16), під'єднати його до клем штатива $<\sim>$ $<0 \div 250\text{ В}>$. Перемикач ЛАТР встановити в положення $0 \div 250\text{ В}$ $<\sim>$.
2. Дослідити коло з резистором R . Виставити задану викладачем напругу кола ($100 \leq U \leq 120\text{ В}$). Результати вимірювань записати в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Вимірювання					Обчислення			
№	R	U	I	P	R	G	$\cos\varphi$	φ
з/п	Ом	В	мА	Вт	Ом	мСм		гр
1								

За даними вимірювань (табл. 13.2) обчислити: опір $R = U / I$, провідність $G = I / U$, кут зсуву фаз φ , коефіцієнт потужності $\cos\varphi = P / UI$. Побудувати векторну діаграму.

3. Дослідити електричне коло з котушкою L без осердя. Встановити задану викладачем напругу кола ($70 \leq U \leq 80\text{ В}$). Результати вимірювань записати в табл. 13.3, п.вим.

Таблица 13.3

Розрах/Вимір				Обчислення						
№	I	U	P	Z	R	X	φ	Q	L	d
з/п	мА	В	Вт	Ом	Ом	Ом	гр	ВАр	Гн	
Роз										
Вим										

За даними вимірювань (табл. 13.3) обчислити: повний $Z = U / I$, активний

$R = P / I^2$, реактивний $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$ опори котушки, $\varphi = \arctg(X / R)$ – кут зсув фаз, реактивну потужність $Q = XI^2$, індуктивність $L = X / \omega$, $d = Q / P$ – добротність котушки. Побудувати векторну діаграму.

4. Дослідити електричне коло з C_1, C_2, C_3 . Виставити задану напругу кола ($60 \leq U \leq 90 \text{ В}$). Результати трьох вимірювань записати в табл. 13.3.

За даними вимірювань (табл. 13.4) обчислити: повну $Y = I / U$, активну $G = P / U^2$, реактивну $B = \sqrt{Y^2 - G^2}$ провідності, ємність конденсатора $C = B / \omega$, реактивну потужність $Q = BU^2$, тангенс кута втрат $\operatorname{tg} \delta = P / Q$, кут зсуву фаз φ ($\varphi = 90 - \delta$). Побудувати векторну діаграму.

Таблиця 13.4

Вимірювання				Обчислення						
№ з/п	U В	I мА	P Вт	Y мСм	G мСм	B мСм	C мкФ	Q Вар	$\operatorname{tg} \delta$	φ гр
C_1										
C_2										
C_3										

Зміст звіту

Назва й мета роботи. Домашнє завдання. Принципова схема кола. Монтажна схема кола. Таблиці. Графіки. Векторні діаграми.

Контрольні запитання

1. Дайте означення змінного струму і зобразіть його на часовій діаграмі. В чому проявляється дія змінних магнітних та електричних полів?
2. Який опір чинять елементи в колі змінного струму? Яку енергію споживають активні і яку енергію нагромаджують реактивні елементи?
3. Дайте означення змінного періодичного струму, зобразіть його вектором та проекціями на горизонтальну й вертикальну осі.
4. Зобразіть часову залежність синусоїдного струму графічно. Дайте визначення амплітуди, періоду, частоти, фази та початкової фази.
5. Запишіть вирази середнього та діючого значень змінного струму та їх залежність з амплітудним значенням.
6. Зобразіть індуктивний елемент і запишіть амплітудно-фазові співвідношення в ньому. Запишіть вирази струму, напруги та потужності.
7. Запишіть аналітично й зобразіть часові залежності струму, напруги та потужності в індуктивному елементі.
8. Зобразіть ємнісний елемент і запишіть амплітудно-фазові співвідношення в ньому. Запишіть вирази струму, напруги й потужності.
9. Запишіть аналітично і зобразіть графічно часові залежності струму, напруги та потужності в ємнісному елементі.
10. Зобразіть векторні діаграми для індуктивного елемента. Зобразіть векторні діаграми для ємнісного елемента.
11. Вкажіть властивості та параметри індуктивної котушки. Зобразіть по-

слідовну схему заміщення котушки.

12. Вкажіть властивості та параметри конденсатора. Зобразіть паралельну схему заміщення конденсатора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 14

Дослідження

послідовного з'єднання котушки та конденсатора

Мета роботи: експериментально дослідити коло з послідовним з'єднанням індуктивної котушки і конденсатора та явище резонансу напруг.

Домашнє завдання

Розрахувати коло з послідовним з'єднанням котушки і конденсатора (рис. 14.14). Дані варіантів завдань наведено в табл. 14.1.

Обчислити реактивні опори X_L , X_C , X , повний опір Z_L , кути зсуву фаз φ_L , φ .

Розрахувати повний опір Z , напругу кола, напруги котушки $U_{кот}$, конденсатора U_C та потужність кола P . Результати розрахунку записати в табл. 14.2, п. роз.

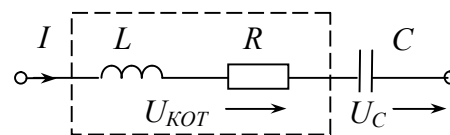


Рис. 14.14

Табл. 14.1

Вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I, \text{мА}$	180	185	190	195	200	180	185	190	195	200
$L, \text{Гн}$	1.12	1.13	1.15	1.18	1.20	1.11	1.14	1.17	1.19	1.10
$R, \text{Ом}$	186	189	187	197	195	185	188	190	192	194
$C_2, \text{мкФ}$	3.92	3.76	3.78	3.86	3.87	6.15	6.33	6.02	6.51	6.34

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з блока живлення БП4822–2, штатива з клемми, плати 2, вимірювальних приладів.

Елементи плати 2: конденсатори – C_1 , C_2 , C_3 , резистор R , L – індуктивна котушка з осердям.

Вимірювальні прилади: PV – мультиметр $M4300$ для вимірювання напруги, опції: $\langle \sim \rangle$, $\langle U \rangle$, $\langle 200 \rangle$; PA – амперметр $\mathcal{E}536$, межа вимірювання $\langle 0.5 A \rangle$; PW – ватметр для вимірювання потужності, межі: $\langle 150 B / 0.5 A \rangle$. Порядок розміщення вимірювальних приладів зображено на рис. 14.15.

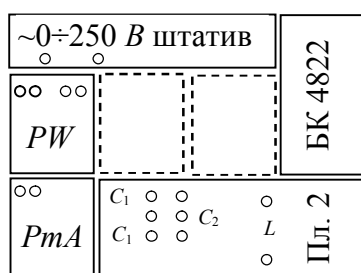


Рис. 14.15

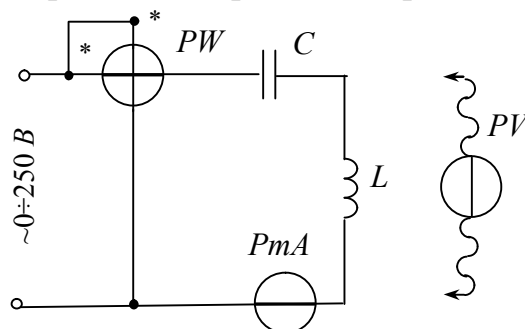


Рис. 14.16

Порядок виконання роботи

1. Скласти коло (рис. 14.16) і під'єднати його до клем $\sim 0 \div 250 \text{ В}$. Перемикач *ЛАТР* встановити в положення $0 \div 250 \text{ В} < \sim >$.

2. Дослідити коло з послідовним з'єднанням індуктивної котушки L та конденсатора C_2 . Встановити заданий викладачем струм у колі ($180 \leq U \leq 200 \text{ мА}$). Результати вимірювань записати в табл. 14.2, п.екс.

3. Дослідити коло з послідовним з'єднанням індуктивної котушки і батареї конденсаторів C_{23} (паралельне з'єднання C_2 і C_3). Встановити заданий викладачем струм у колі ($180 \leq U \leq 200 \text{ мА}$). Результати вимірювань записати в табл.14.2.п 2.

Таблиця 14.2

Розрахунок/Вимір						Обчислення						
№ з/п	$I, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$U_{\text{КОТ}}, \text{ В}$	$U_C, \text{ В}$	$P, \text{ Вт}$	$R, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$	$Z_L, \text{ Ом}$	$\varphi_L, \text{ гр}$	$X_C, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	$\varphi, \text{ гр}$
Роз.												
Вим.												
2												

За даними вимірювань (табл.14.2, п.2,4) обчислити: активний R $R = P / I^2$, повний $Z_L = U_{\text{КОТ}} / I$, реактивний $X_L = \sqrt{Z_L^2 - R^2}$ опори котушки, кут зсуву фаз у котушці $\varphi_L = \arctg(X_L / R)$, реактивний опір конденсатора $X_C = U_C / I$, реактивний опір кола $X = X_L - X_C$, кут зсуву фаз у колі $\varphi = \arctg(X / R)$. За даними табл.14.2, п.1 і 2, побудувати дві векторні діаграми.

5. Дослідити коло з послідовним з'єднанням конденсатора C_1 та індуктивної котушки:

- п.1: при мінімальній індуктивності котушки (без осердя);
- п.2: при максимальному струмі в колі при резонансі (модуля);
- п.3: при максимальній індуктивності котушки (з осердям);
- п.4: при резонансі в колі (фази).

Індуктивність котушки змінюють шляхом переміщення осердя. Встановити задане викладачем значення напруги кола ($50 \leq U \leq 70 \text{ В}$). Результати вимірювань записати в табл.14.3.

Таблиця 14.3

Вимірювання						Обчислення						
№ з/п	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$U_C, \text{ В}$	$U_{\text{КОТ}}, \text{ В}$	$P, \text{ Вт}$	$R, \text{ Ом}$	$Z_L, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$	$\varphi_L, \text{ гр}$	$X_C, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	$\varphi, \text{ гр}$
1												
2												
3												
4												

За даними вимірювань (табл. 14.3) обчислити активний $R = P / I^2$, повний $Z_L = U_{\text{КОТ}} / I$, реактивний $X_L = \sqrt{Z_L^2 - R^2}$ опори котушки; кут зсуву фаз котушки $\varphi_L = \arctan(X_L / R)$, реактивний опір конденсатора $X_C = U_C / I$, реактивний опір кола $X = X_L - X_C$, кут зсуву фаз у колі $\varphi = \arctan(X / R)$. За даними табл. 14.3, п.2 побудувати векторну діаграму кола при резонансі.

При побудові діаграми знехтувати втратами в конденсаторах, тому кут зсуву фаз між напругою та струмом у конденсаторі прийняти $\varphi_C = -\pi / 2$.

Зміст звіту

Назва й мета роботи. Домашнє завдання – розрахунок кола. Електрична схема досліджуваного кола. Монтажна схема кола з вимірювальними приладами. Таблиці. Графіки. Векторні діаграми.

Контрольні запитання

1. Запишіть рівняння рівноваги напруг та електричного стану для миттєвих значень при послідовному з'єднанні R, L, C елементів.
2. Зобразіть схему кола з послідовним з'єднанням R, L, C елементів і запишіть рівняння рівноваги напруг у векторній формі.
3. Запишіть рівняння рівноваги напруг при послідовному з'єднанні R, L, C елементів, зобразіть топографічно діаграму кола.
4. Зобразіть трикутник напруг кола з послідовним з'єднанням R, L, C елементів і запишіть вирази загальної напруги і кута зсуву фаз.
5. Зобразіть трикутник опорів кола з послідовним з'єднанням R, L, C елементів і запишіть вирази повного опору і кута зсуву фаз.
6. Зобразіть трикутник потужностей кола з послідовним з'єднанням R, L, C елементів і запишіть вираз повної потужності і кута зсуву фаз.
7. Запишіть аналітично і зобразіть графічно частотні характеристики індуктивного та ємнісного реактивних опорів.
8. Зобразіть коло, в якому виникає резонанс напруг і запишіть умову резонансу. Запишіть вираз резонансної частоти кола.
9. Запишіть вирази хвильового опору та добротності кола. Запишіть величину хвильового опору через параметри L, C елементів.
10. Зобразіть частотні характеристики індуктивного та ємнісного елементів та вкажіть на графіку резонансну частоту кола.
11. Зобразіть резонансну криву струму та частотну характеристику кола при послідовному резонансі.
12. У чому полягає небезпека для надійності елементів кола при резонансі напруг? Де використовують явище резонансу напруг?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 15

Дослідження

паралельного з'єднання котушки і конденсатора

Мета роботи: експериментально дослідити електричне коло з паралельним з'єднанням індуктивної котушки й конденсатора при різних значеннях індуктивності та ємності, дослідити явище резонансу струмів.

Домашнє завдання

Розрахувати коло з паралельним з'єднанням конденсатора і котушки (рис. 15.15). Дані варіантів наведено в табл. 15.1.

Обчислити реактивні провідності конденсатора B_C , котушки B_L , усього кола B , повну провідність котушки Y_L , кут зсуву фаз котушки φ_L та всього кола φ .

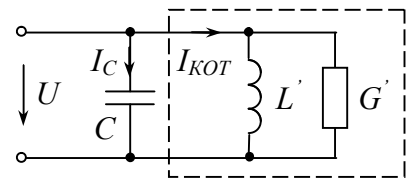


Рис.15.51

Розрахувати повну провідність Y і струм I кола, струми конденсатора I_C , котушки $I_{\text{кот}}$ та потужність P . Результати розрахунку записати в табл. 15.2, п. роз.

Таблиця 15.1

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, B	50	55	60	65	70	50	55	60	65	70
$C_1, \text{мкФ}$	3.99	3.77	3.83	3.82	3.79	4.17	4.15	4.12	4.17	4.11
$L, \text{Гн}$	1.12	1.13	1.15	1.18	1.20	1.12	1.13	1.15	1.18	1.20
$G, \text{мСм}$	1,33	1.36	1,39	1,45	1,48	1,51	1,54	1,57	1,60	1,63

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з блока живлення БП4822–2, штатива з клемми, плати 2, вимірювальних приладів.

Елементи плати 2: конденсатори – C_1, C_2, C_3 , резистор R, L – індуктивна котушка з осердям.

Вимірювальні прилади: PV – мультиметр М4300 для вимірювання напруги, опції: $\langle \sim \rangle \langle U \rangle, \langle 200 V \rangle$; PA – амперметри Э536, межа вимірювання $\langle 0.5 A \rangle$; PmA – міліамперметр, межа $\langle 200 mA \rangle$; PW – ватметр межі:

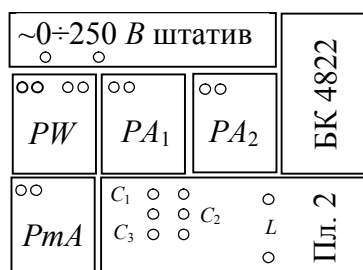


Рис. 15.16

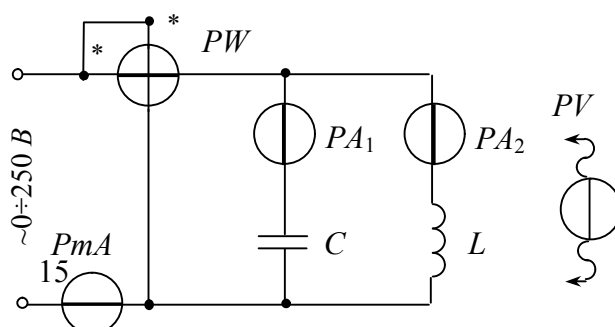


Рис. 15.17

$<150\text{ В} / 0.5\text{ А}>$. Порядок розміщення вимірювальних приладів (рис. 15.16).

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло (рис.15.17) і під'єднати його до клем штативу $\sim 0 \div 250\text{ В}$. Перемикач *ЛАТР* встановити в положенні $0 \div 250\text{ В} <\sim>$.

2. Дослідити коло з паралельним з'єднанням індуктивної котушки та конденсатора C_1 . Встановити розраховану напругу кола ($50 \leq U \leq 70\text{ В}$). Результати вимірювань записати в табл.15.2, п.вим.

3. Дослідити паралельне з'єднання індуктивної котушки L та батареї конденсаторів C_{13} (паралельне з'єднання C_1 і C_3). Встановити розраховану напругу кола ($50 \leq U \leq 70\text{ В}$). Результати вимірювань записати в табл.15.2, п 2.

Таблиця 15.2

Розрахунок/Вимір						Обчислення						
№ з/п	U , B	I , mA	I_C , mA	$I_{\text{КОТ}}$, mA	P , W	B_C , $мСм$	G , $мСм$	Y_L , $мСм$	B_L , $мСм$	φ_L , gr	B , $мСм$	φ , gr
Роз.												
Вим.												
2												

4. За даними вимірювань (табл. 15.2) обчислити: провідність конденсатора $B_C = I_C / U$, повну $Y_L = I_{\text{КОТ}} / U$, активну $G = RY_L^2$ (де $R = P / I_{\text{КОТ}}^2$), реактивну $B_L = \sqrt{Y_L^2 - G}$ провідності котушки; кут зсув фаз у котушці $\varphi_L = \arctg(-B_L / G)$; реактивну провідність кола $B = B_L - B_C$, кут зсуву фаз кола $\varphi = \arctg(B / G)$. Побудувати векторні діаграми напруги і струмів.

5. Дослідити коло з паралельним з'єднанням конденсатора C_2 та індуктивної котушки:

- п.1: при мінімальній індуктивності котушки (без осердя);
- п.2: при мінімальному струмі в колі при резонансі (модуля);
- п.3: при максимальній індуктивності котушки (з осердям);
- п.4: при резонансі фази в колі.

Індуктивність котушки змінюють шляхом переміщення осердя. Встановити задане викладачем значення напруги кола ($90 \leq U \leq 110\text{ В}$). Результати вимірювань записати в табл.15.3.

Таблиця 15.3

Вимірювання						Обчислення					
№ з/п	U , B	I , mA	I_C , A	I_L , A	P , W	B_C , $мСм$	G , $мСм$	Y_L , $мСм$	B_L , $мСм$	B , $мСм$	φ , gr
1											
2											
3											
4											

За даними вимірювань (табл. 15.3) обчислити: провідність конденсатора $B_C = I_C / U$, повну $Y_L = I_{\text{кот}} / U$, активну $G = R Y_L^2$ (де $R = P / I_{\text{кот}}^2$), реактивну $B_L = \sqrt{Y_L^2 - G^2}$ провідності котушки, реактивну провідність кола $B = B_L - B_C$ та кут зсуву фаз у колі $\varphi = \arctan(B / G)$. За даними табл.15.3.п.2 побудувати векторну діаграму кола при резонансі.

Зміст звіту

Назва й мета роботи. Домашнє завдання – розрахунок кола. Принципова схема досліджуваного кола. Монтажна схема кола з вимірювальними приладами. Таблиці. Графіки. Векторні діаграми.

Контрольні запитання

1. Зобразіть схему кола з паралельним з'єднанням RCL елементів і запишіть рівняння рівноваги струмів у векторній формі.
2. Зобразіть на топографічній діаграмі рівняння рівноваги струмів для паралельного з'єднання RCL елементів і виділіть трикутник струмів.
3. Зобразіть розрахунковий трикутник провідностей кола з паралельним з'єднанням RCL елементів і запишіть повну провідність кола і фазовий зсув.
4. Зобразіть розрахунковий трикутник потужностей кола з паралельним з'єднанням RLC елементів і запишіть повну потужність кола і фазовий зсув.
5. Зобразіть паралельну схему заміщення конденсатора, запишіть вирази ємнісної провідності й тангенса кута втрат.
6. Запишіть вираз повної провідності $Y(\omega)$ та її значення на постійному струмі. Поясніть перевагу паралельної схеми заміщення конденсатора.
7. Запишіть аналітично та представте графічно частотні характеристики ємнісної та індуктивної реактивних провідностей і резонансну частоту кола.
8. Запишіть вирази активної та реактивної провідностей паралельної схеми заміщення за відомими значеннями послідовної схеми заміщення.
9. Зобразіть резонансну криву струму та частотну характеристику кола при паралельному резонансі.
10. Зобразіть векторну діаграму при резонансі струмів. Запишіть вираз струму в колі при резонансі.
11. Яку енергію споживає коло при резонансі? Запишіть вирази енергії, якою обмінюються конденсатор і котушка при резонансі.
12. У чому полягає небезпека для надійності елементів кола при резонансі струмів? Де використовують явище резонансу струмів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 16

Дослідження

однофазних приймачів, з'єднаних зіркою

Мета роботи: експериментально дослідити електричний стан трифазного кола при симетричному та несиметричному навантаженнях, з'ясувати призначення нейтрального проводу.

Домашнє завдання

До трифазного симетричного джерела з лінійною напругою $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ під'єднані три групи однофазних приймачів, з'єднаних зіркою (рис. 16.11). Визначити фазну напругу і записати комплекси фазних напруг приймачів. Визначити активні опори фаз приймачів, комплекси фазних струмів, комплекс струму в нейтралі. Дані для розрахунку наведено в табл. 16.1.

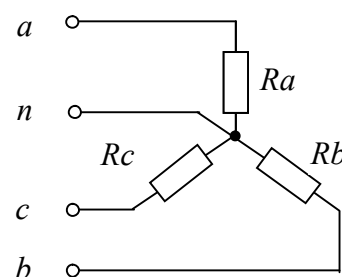


Рис. 16.11

Табл. 16.1

Var.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_a, \text{Вт}$	20	40	50	80	100	20	40	50	80	100
$P_b, \text{Вт}$	40	50	80	100	20	40	50	80	100	20
$P_c, \text{Вт}$	50	80	100	20	40	50	80	100	20	40

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з блока живлення БП4822–2, штатива з клемми, плати 3, вимірювальних приладів.

Елементи плати 3: однофазні споживачі Л1–Л9 (220 В, 25 Вт), вимикачі однофазні SB, вимикач нейтрального проводу SB3, індуктивна котушка з осердям, двополіусний перемикач « $X_L \leftrightarrow R$ ».

Вимірювальні прилади: PV – мультиметр М4300 для вимірювання напруги, опції: $\langle \sim \rangle$, $\langle U \rangle$, $\langle 200 \text{ В} \rangle$; PA – амперметри Э536, межа вимірювання $\langle 0.5 \text{ А} \rangle$; PmA – міліамперметр, межа $\langle 200 \text{ мА} \rangle$. Порядок розміщення вимірювальних приладів (рис. 16.12).

Порядок виконання роботи

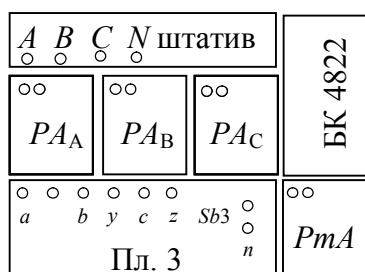


Рис. 16.12

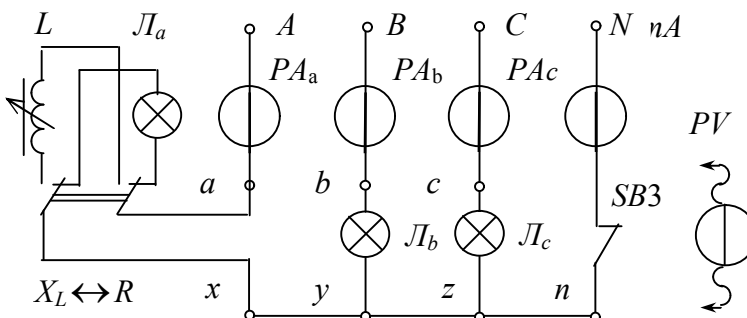


Рис. 16.13

1. Скласти електричне коло (рис. 16.13), під'єднати його до клем штатива А, В, С, N трифазної напруги $\langle 3 \sim 220 \text{ В} \rangle$. Визначити порядок чергування фаз. Для цього в колі (рис. 16.13) замість індуктивної котушки L під'єднати

конденсатор C , перемикач « $L \leftrightarrow L$ » встановити в позицію L , а у фазах A, B повинно світитися по одній лампочці. Світіння лампочки фази B тьмяне, а фази C – яскраве.

2. Дослідити коло при рівномірному й однорідному навантаженні з нейтральним ($SB\ 3$ замкнений) та без нейтрального проводу ($SB\ 3$ розімкнений). Якщо $SB\ 1$ і $SB\ 2$ замкнені – навантаження рівномірне, а перемикач « $L \leftrightarrow L$ » в положенні L , то навантаження однорідне. Результати вимірювань записати в табл. 16.2.

Таблиця 16.2

Вимірювання											
№ з/п	U_A B	U_B B	U_C B	U_a B	U_b B	U_c B	I_a mA	I_b mA	I_c mA	U_{nN} B	I_n mA
1											
2											

За даними вимірювань (табл. 16.2, п. 1, 2) побудувати векторні діаграми.

3. Дослідити коло при нерівномірному й однорідному навантаженні з нейтральним ($SB\ 3$ замкнений) та без нейтрального проводу ($SB\ 3$ розімкнений). $SB\ 1$ і $SB\ 2$ розімкнені – нерівномірне навантаження, а перемикач « $L \leftrightarrow L$ » в позиції L – однорідне навантаження. Результати вимірювань записати в табл. 16.3.

Таблиця 16.3

Вимірювання											
№ з/п	U_A B	U_B B	U_C B	U_a B	U_b B	U_c B	I_a mA	I_b mA	I_c mA	U_{nN} B	I_n mA
1											
2											

За даними вимірювань (табл. 16.3, п. 1, 2) побудувати векторні діаграми.

4. Дослідити коло при рівномірному і неоднорідному навантаженні з нейтральним проводом ($SB\ 3$ замкнений) та без нейтрального проводу ($SB\ 3$ розімкнений). Якщо перемикач « $L \leftrightarrow L$ » в положенні L , то навантаження неоднорідне. $SB\ 2$ замкнений, а для забезпечення рівномірного навантаження ($I_a = I_b = I_c$) потрібно змінювати струм фази I_a шляхом зміни індуктивності котушки (переміщення осердя в котушці). Результати вимірювань записати в табл. 16.4.

Таблиця 16.4

Вимірювання											
№ з/п	U_A B	U_B B	U_C B	U_a B	U_b B	U_c B	I_a mA	I_b mA	I_c mA	U_{nN} B	I_n mA
1											
2											

За даними вимірювань табл.16.4, п.1,2 побудувати векторні діаграми.

Звіт звіту

Назва й мета роботи. Домашнє завдання – розрахунок кола. Принципова схема досліджуваного кола. Монтажна схема кола з вимірювальними приладами. Таблиці. Графіки. Векторні діаграми.

Контрольні запитання

1. З яких елементів складається трифазне коло? Наведіть приклади приймачів трифазної енергії. Дайте означення трифазного електричного кола.
2. Запишіть вирази миттєвих значень трифазних електрорушійних сил у тригонометричній і комплексній формах.
3. Дайте означення порядку чергування фаз і поясніть, яким чином його можна змінити. Зобразіть трифазну систему електрорушійних сил на комплексній площині.
4. Зобразіть схему з'єднання обмоток трифазного джерела зіркою. Дайте визначення фазних та лінійних напруг.
5. Зобразіть векторну діаграму симетричних фазних напруг і з її допомогою поясніть властивість цих напруг.
6. Зобразіть векторну діаграму фазних напруг і топографічну діаграму лінійних напруг. Виведіть співвідношення між лінійною та фазною напругами.
7. Зобразіть схему з'єднання фаз приймачів зіркою з нейтральним проводом і поясніть його призначення.
8. Запишіть вирази рівномірного, однорідного та симетричного навантаження трифазного кола при з'єднанні «зіркою».
9. Запишіть вирази напруги зсуву нейтралі та фазних напруг приймачів у комплексній формі при несиметричному навантаженні.
10. Запишіть вирази напруги зсуву нейтралі та фазних напруг приймачів у комплексній формі при симетричному навантаженні.
11. Запишіть вираз активної потужності трифазної системи. Зобразіть схему вимірювання потужності при симетричному навантаженні.
12. Поясніть призначення нейтрального проводу в трифазній системі і запишіть вираз струму в нейтральному проводі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 17

Дослідження

однофазних приймачів, з'єднаних трикутником

Мета роботи: експериментально дослідити електричний стан трифазного кола при з'єднанні фаз приймачів трикутником при симетричному та несиметричному навантаженнях.

Домашнє завдання

До трифазного симетричного джерела з лінійною напругою $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ під'єднані три групи однофазних приймачів, які з'єднані трикутником (рис.17.7). Визначити фазну напругу і записати комплекси фазних напруг приймачів. Визначити активні опори фаз приймачів і комплекси фазних струмів. Дані для розрахунку наведено в табл. 17.1.

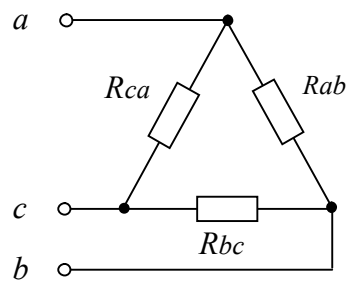


Рис. 17.7

Таблиця 17.1

Var.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ab}, \text{Вт}$	100	80	60	40	20	100	80	60	40	20
$P_{bc}, \text{Вт}$	20	100	80	60	40	20	100	80	60	40
$P_{ca}, \text{Вт}$	40	20	100	80	60	40	20	100	80	60

Опис лабораторної установки

На платі №3 використовують: три групи однофазних споживачів (лампочки $L1-L9$), вимикачі однофазного навантаження $SB 1$, $SB 2$, однофазний приймач (індуктивна котушка з осердям) та фазний перемикач « $X_L \leftrightarrow R$ ». Вимірювальні прилади: PA – амперметри Э536, PV – мультиметр М4300. Порядок розміщення вимірювальних приладів зображено на рисунку (рис. 17.8).

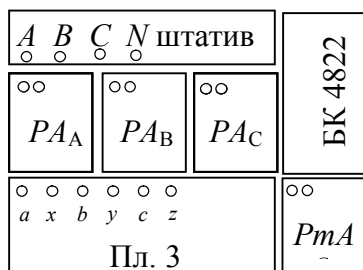


Рис. 17.8

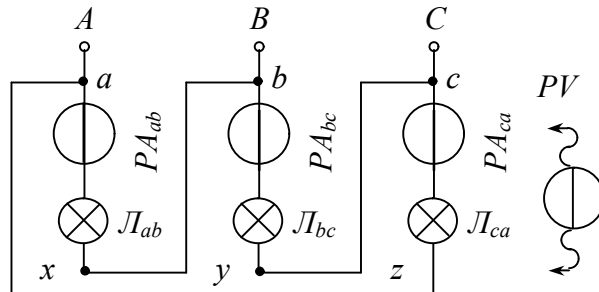


Рис. 17.9

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло (рис.17.5), під'єднати його до клем штатива приладів A , B , C , N трифазного живлення $<3 \sim 220 \text{ В}>$. Виставити межі вимірювання приладів. Схеми з'єднання приймачів енергії не залежать від схеми з'єднання обмоток генератора.

2. Дослідити коло (рис. 17.9) при симетричному навантаженні ($SB 1$ і $SB 2$ замкнені). Результати вимірювань записати в табл. 16.2.

Таблиця 17.2

Вимірювання						
№ з/п	U_{ab} В	U_{bc} В	U_{ca} В	I_{ab} А	I_{bc} А	I_{ca} А
1						

За даними табл.17.2 побудувати векторну діаграму.

3. Дослідити коло при несиметричному (*SB 1* і *SB 2* розімкнені) навантаженні. Результати вимірювань записати в табл. 17.3.

Таблиця 17.3

Вимірювання						
№ з/п	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	I_{ab}	I_{bc}	I_{ca}
1						

За даними табл. 17.3 побудувати векторну діаграму.

4. Скласти електричне коло (рис. 17.10). Дослідити коло при симетричному навантаженні й обриві провідника у фазі *ab* (*SB 1* і *SB 2* розімкнені). Результати вимірювань записати в табл.17.4, п.1.

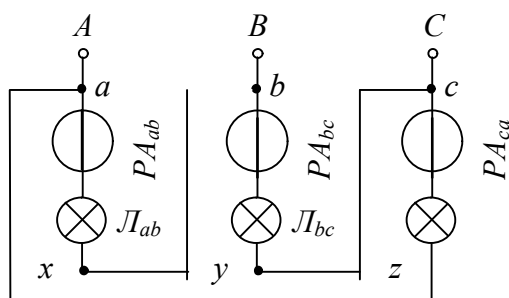


Рис. 17.10

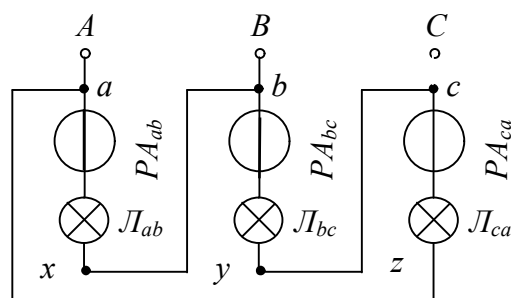


Рис. 17.11

5. Скласти електричне коло (рис.17.11). Дослідити коло при симетричному навантаженні й обриві лінійного провода *C* (*SB 1* і *SB 2* замкнені). Результати вимірювань записати в табл. 17.4, п.2.

Таблиця 17.4

Вимірювання						
№	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	I_A	I_B	I_C
з/п	В	В	В	А	А	А
1						
2						

За даними табл. 17.3, п.1, 2 побудувати векторні діаграми.

Зміст звіту

Назва й мета роботи. Домашнє завдання. Схеми досліджуваних кіл. Перелік вимірювальних приладів. Таблиці. Опрацювання результатів дослідження.

Контрольні запитання

1. Яка перевага трифазних систем в електроенергетиці? Вкажіть основне джерело та приймачі в трифазних колах.
2. Зобразіть миттєві електрорушійні сили часовою діаграмою та в комплексній формі.
3. Представте діючі значення симетричної системи лінійних напруг приймачів у комплексному вигляді та векторною діаграмою.
4. Доведіть властивість симетричної системи лінійних напруг у комплексній і векторній формах.
5. Зобразіть схему несиметричного нерівномірно однорідного навантаження та його векторну діаграму.
6. Зобразіть схему несиметричного рівномірно неоднорідного навантаження та його векторну діаграму.
7. Поясніть, які є основні способи з'єднань джерела і навантаження в трифазній системі.
8. Яку умову повинні задовольняти однофазні приймачі при з'єднанні їх трикутником для забезпечення рівномірного навантаження?
9. Яку умову повинні задовольняти однофазні приймачі при з'єднанні їх трикутником для забезпечення однорідного навантаження?
10. В якому випадку вимірюють активну потужність у трифазному колі за допомогою одного ватметра? Зобразіть схему ввімкнення ватметра.
11. В якому випадку вимірюють активну потужність у трифазному колі за допомогою двох ватметрів? Зобразіть схему ввімкнення ватметрів.
12. Запишіть вирази активної, реактивної та повної потужностей фазними та лінійними напругами і струмами.

Література

1. Малинівський, С.М. Загальна електротехніка: підручник [Текст] / С.М. Малинівський. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 640 с.
2. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: підручник [Текст] / М.С. Будіщев. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
3. Мурзін, В.К. Загальна електротехніка: підручник [Текст] / В.К. Мурзін. – Полтава: Кременчук, 2003. – 314 с.
4. Паначевний, Б.І. Загальна електротехніка: теорія і практикум: підручник [Текст] / Б.І. Паначевний, Ю.Ф. Свергун. – К.: Каравела, 2004. – 440 с.

5. Касаткин, А.С. Электротехника: учебник [Текст] / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высшая школа, 2002. – 542 с.
6. Борисов, Ю.М. Электротехника: учебник [Текст] / Ю.М. Борисов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 551 с.
7. Трегуб, А.П. Электротехника: учебник [Текст]/ А.П. Трегуб. – К. Высшая школа, 1987.– 600 с.